

Vivienda bioclimática sub-urbana en un clima templado frío en la región central de Argentina

Bioclimatic sub-urban building in a moderate cold climate in Argentina

Celina Filippín
Alicia Beascochea

Resumen

Se describe el diseño y la tecnología de una vivienda bioclimática sub-urbana en Santa Rosa, provincia de La Pampa, en la región central de Argentina. La localidad está a 36°57' y 66°27' de latitud sur y longitud, respectivamente. Las pautas de diseño fueron: calentamiento, refrescamiento e iluminación natural. El 72 % del área de la vivienda está solarizada (ganancia solar directa al Norte: 17.5% respecto al área útil). La resistencia térmica de la envolvente es de 1.60 y 3.65 m²C/W para la pared y el techo, respectivamente. El objetivo del trabajo es analizar el comportamiento térmico y energético a través del monitoreo. Entre el 19 de abril y el 24 de mayo la temperatura media interior fue de 21°C (temperatura media exterior de 15.9°C, irradiancia máxima entre 400 y 500 W/m²). Los resultados para el invierno fueron satisfactorios, se mantuvieron las condiciones de confort con un consumo diario de gas natural de alrededor de 0.07m³/m² (67% de ahorro respecto a una construcción tradicional). Durante la primavera, en condiciones reales de uso, la temperatura media fue de 22°C (temperatura media exterior de 16°C). Durante el verano la temperatura media, sin acondicionamiento mecánico fue de 25.4°C (temperatura media exterior de 25.2°C). El sobre-costo de la obra por solarización y conservación fue del 6.4% al 2007.

Palabras-clave: Vivienda unifamiliar. Diseño bioclimático. Ganancia solar directa. Conservación y disipación de la energía. Ahorro de energía.

Abstract

The design and the technology of a bioclimatic building located in Santa Rosa, province of La Pampa (Argentina) are described in this article. The latitude and longitude of the city are 36°57' y 66°27', respectively. The general guidelines for the design were: heating and natural cooling, day-lighting and visual comfort. 72% of the housing floor area receives direct solar gains from the north (17.5% of the useful area). The envelope thermal resistance is 1.60 and 3.65 m²C/W for walls and roof respectively. The aim of this study is to evaluate the thermal performance and energy consumption of this building. Between April 19 and May 24 (unoccupied) the mean indoor temperature was 21° C (mean outdoor temperature of 15.9°C, maximum irradiance between 400 and 500 W/m²). Results for winter were satisfactory: comfort conditions were kept with a daily natural gas consumption of about 0.09m³/m²/day (57% saving as compared with traditional buildings). The results showed a good performance during spring (mean indoor temperature of 22.2°C, mean outdoor temperature of 16°C). During summer the indoor mean temperature was 25.4°C without mechanical cooling system (mean outdoor temperature of 25.2°C). The additional solarisation-conservation cost was 6.4% (2007).

Keywords: Individual house. Bioclimatic design. Direct solar gain. Energy conservation and dissipation. Energy saving.

Celina Filippín
Consejo Nacional de
Investigaciones Científicas y
Técnicas
P.O. Box 302
(6300) Santa Rosa - La Pampa -
Argentina
E-mail:
cfilippin@cpenet.com.ar

Alicia Beascochea
Arquitecta
(6300) Santa Rosa - La Pampa -
Argentina
Tel.: (54) 2954-426752
E-mail:
aliciaebg@yahoo.com.ar

Recebido em 21/05/09
Aceito em 17/08/09

Introducción

La energía utilizada en edificios representa una importante proporción del total a nivel regional, nacional y local. Se estima que entre el 35 y 40% de todos los recursos energéticos primarios usados en Argentina se destinan al acondicionamiento del hábitat construido. El 53% de la demanda en edificios corresponde al sector residencial; el 58% de la energía consumida en edificios residenciales está definido por el uso de la calefacción en la viviendas (EVANS, 2005). Guadagni (2008), expresa entre otros conceptos, 'que la Argentina podrá reducir en el futuro sus emisiones (5.7 t de carbono/capita) ya que, influirá, en esta mejora ambiental, la pérdida del autoabastecimiento de gas, nafta, gasoil y fuel oil. El escenario energético que se avecina impulsará iniciativas para reducir en nuestro país las emisiones de CO₂: a-modernización del transporte público y de la red ferroviaria para cargas y movimiento masivo de pasajeros, b-procesos industriales menos intensivos en combustibles, c- aumento en la eficiencia energética de los vehículos y los artefactos y d- nuevos códigos de edificación que minimicen el consumo energético. Diceran Czajkoswski, Gómez y Corredera (2007) en un artículo:

[. . .] *debemos adaptarnos a usar racionalmente la energía o a ser muy eficientes y consumir lo menos posible. Esto implica cambios en los hábitos de los usuarios, pero si habitamos un edificio muy ineficiente es muy poco lo que se puede ahorrar. El Diseño Ambientalmente Conciente (DAC) busca aprovechar los recursos naturales intentando reducir al mínimo las consecuencias negativas para el medio ambiente realizando en el edificio la eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, la energía y el espacio construido.*

La eficiencia energética es un tema crítico para una alta performance de un edificio. El consumo de energía no sólo representa un alto porcentaje en la operación y mantenimiento de un edificio sino que tiene un efecto en el confort térmico y visual de los ocupantes (SANTAMOURIS, 2005). Un adecuado diseño requiere un balance entre la performance térmica de la envolvente del edificio, la selección apropiada de la técnica de calentamiento, enfriamiento e iluminación y una calidad aceptable del clima interior en términos de confort térmico y calidad de aire (ALLARD, 2002).

En este marco es importante realizar una adecuada divulgación de las ventajas del diseño ambientalmente conciente a todos los sectores de

la población y maximizar las actividades de transferencia de tecnología para construir y evaluar edificios de bajo consumo de energía. El presente trabajo muestra el diseño arquitectónico- térmico, la tecnología de una vivienda bioclimática ubicada en la zona peri-urbana de la localidad de Santa Rosa, (capital de la provincia de La Pampa) y los resultados del monitoreo térmico que se inició el 20 de abril de 2008 y finalizó hacia mediados de febrero de 2009.

Localización y emplazamiento

La localidad de Santa Rosa, capital de la provincia de La Pampa, pertenece a la zona bioambiental VI_a (Templado frío) según la Norma IRAM 11.603. Está a 36°57' y 66°27' de latitud sur y longitud, respectivamente (altura sobre el nivel del mar: 189m) (Figura 1). Se encuentra en una zona semiárida con precipitaciones anuales promedio de 650mm. Corresponde a un área ecológica de bosques, pastizal natural y cultivos que otorgan a la región un buen potencial de desarrollo agrícola - ganadero. La Tabla 1 muestra algunos datos climáticos. El terreno está, a medio rumbo, tiene 2500m² y se ubica en una zona muy abierta en la periferia de la ciudad de Santa Rosa. Según la carta bioclimática de Olgyay (1963), y para valores medios de temperatura y humedad relativa, sólo diciembre, enero y febrero caen dentro de la zona de bienestar. El resto del año, y para aspirar a un entorno climático equilibrado, en el diseño de los edificios en la región en estudio, se deben aplicar disposiciones correctivas a través de elementos climáticos naturales, por ejemplo, el uso de la radiación solar para el calentamiento. Los meses de invierno (junio - julio - agosto) necesitan más de 70 Kcal/hora (0.293 MJ/h) para ingresar a la zona de bienestar, cifra que queda garantizada por la disponibilidad del recurso en la zona. En el diagrama psicrométrico y para valores medios de temperatura y humedad relativa, salvo diciembre, enero y febrero el resto de los meses necesita calentamiento solar para ingresar a la zona de bienestar. Julio requiere además calor auxiliar. Para valores medios máximos de temperatura y mínimos medios de humedad relativa, el 75% del año el edificio necesita de medidas correctivas para ingresar a la zona de bienestar. Para valores mínimos medios de temperatura y máximos medios de humedad relativa, durante junio, julio y agosto el edificio necesita de calor auxiliar para alcanzar al menos 18°C de temperatura media (Figura 2).

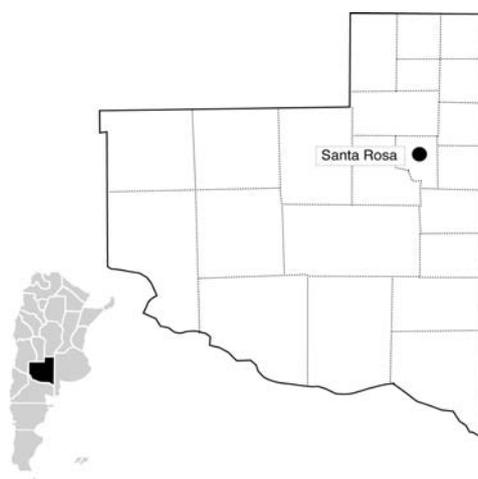
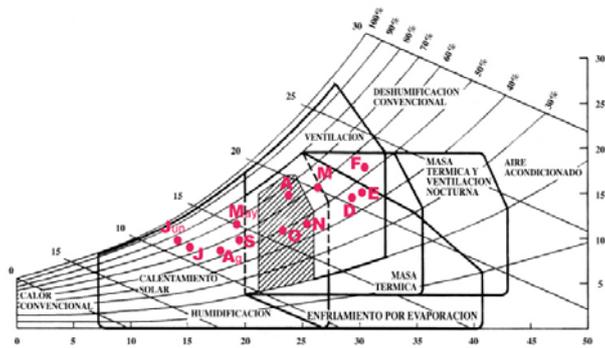


Figura 1 - Ubicación de Santa Rosa en la provincia de La Pampa

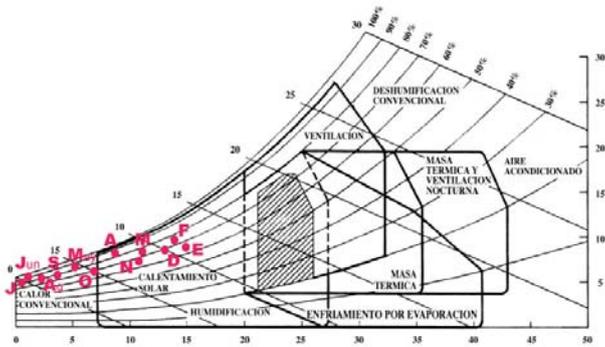
Valores anuales	Temperatura	media máxima	°C	23.4	
		media mínima		8.1	
		media		15.5	
	Humedad relativa		%	68	
Radiación solar media anual sobre superficie horizontal				MJ/m ²	16.3
Julio	Temperatura	mínima media		1.5	
		media		7.6	
		máxima media	°C	13.5	
		mínima absoluta		-5.9	
	Amplitud térmica			12.0	
	Velocidad media del viento		Km/h	10	
Radiación solar media sobre superficie horizontal				MJ/m ²	8.1
Enero	Temperatura	máxima media		31.0	
		media		23.8	
		mínima media	°C	15.0	
		máxima absoluta		36.4	
	Amplitud térmica			16.9	
	Velocidad media del viento		Km/h	14	
Radiación solar media sobre superficie horizontal				MJ/m ²	24.0
Grados-día de calefacción (T _b = 18°C)					1545
Grados-día de enfriamiento (T _{base} = 23°C)					449

Fuente: Fuerza Aérea Argentina, 1992.

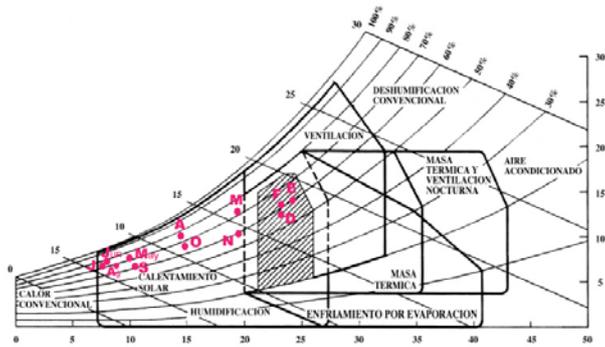
Tabla 1 - Variables climáticas (Latitud: 36°57'; longitud: 64°27' y altura sobre el nivel del mar: 189 m)



A: Temperatura y humedad relativa media



B: Temperatura mínima media y humedad relativa máxima



C: Temperatura máxima media y humedad relativa mínima

Fuente: Fuerza Aérea Argentina, 1992.

Figura 2 - Diagrama psicrométrico para valores medios mensuales de temperatura y humedad relativa para Santa Rosa

Diseño y tecnología

Breve descripción: organización funcional

El año del proyecto fue 2006 y el año de construcción de la primera etapa fue entre 2007/2009. La superficie de la primera fase fueron 123,8 m² y la superficie total de 248,3 m² proyectados.

Las necesidades del comitente son iposeer un proyecto completo, que se pudiera ejecutar por etapas. La primera (habitada desde julio de 2008), debía satisfacer las necesidades familiares básicas con dos dormitorios y dos baños, ya que uno de ellos es de uso exclusivo del dormitorio principal. Uno de los locales previstos para dormitorio se usaría como estar en la primera etapa; se debería garantizar el confort con un menor consumo de energía convencional; también era requisito que la construcción no excediera los costos medios para las viviendas con tecnología tradicional. Por este motivo no se ejecutó la aislación térmica del muro Oeste, que se supone pasará a formar parte del interior de la vivienda, y sobre el que se montó, de manera provisoria, un techo que sirve de cochera y que protege en parte a esta pared de la radiación solar de verano en las horas críticas posteriores al ½ día; y se postergaría por razones económicas, la construcción de aislaciones térmicas bajo vereda perimetral, a efectos de dar continuidad a la aislación de muros bajo nivel de piso exterior, y la ejecución del sector externo de conductos enterrados de refrescamiento.

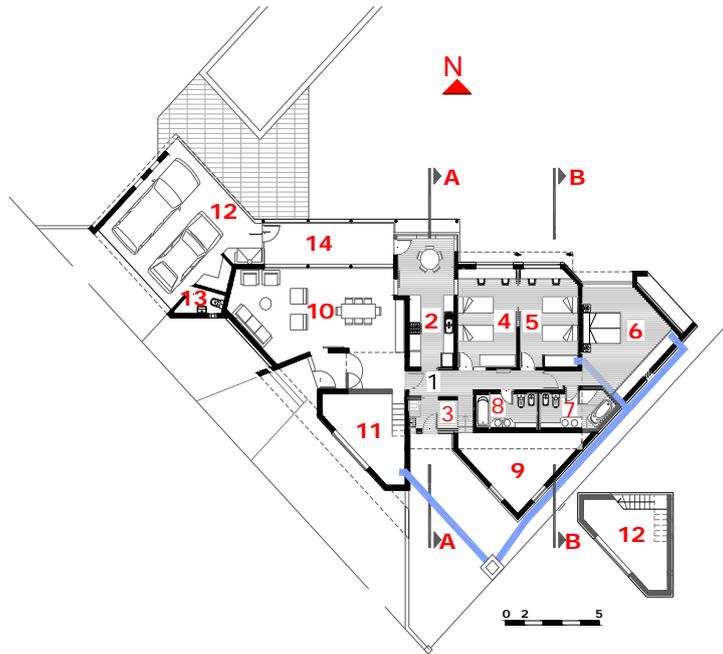
Según estos lineamientos, las áreas funcionales se organizan según se detalla en la Figura 3. En la primera etapa, el 'Estar' funciona en el dormitorio Oeste del proyecto completo. En la segunda etapa se construirán los siguientes locales: 9 (Depósito), 10 (Estar-comedor), 11 (Escritorio), 12 (Garage), 13 (Baño servicio) y 14 (Galería vidriada). Con el fin de minimizar la estratificación térmica Norte-Sur se incorpora una ventana alta al Norte, sobre el pasillo. Ventanas que se abren en la fachada Norte-Sur permitirían la ventilación cruzada. En la planta se observan

los intercambiadores de calor aire- tierra (conductos enterrados) para favorecer el refrescamiento pasivo. El corte muestra un aspirador eólico y un soplante en el ático (para disipar y aprovechar el calor en el verano y en el invierno, respectivamente) (Figura 4).

Tecnología

Se plantea una envolvente vertical tri-capa con masa interior, aislación térmica y protección mecánica de la misma. La pared interior es de ladrillo macizo (espesor = 0.18m), la aislación térmica de poliestireno expandido de 0.05m de espesor. Como protección mecánica externa de la aislación se usó el revestimiento Base Coat de Iggam (R pared = 1.60 m²C/W) (Figura 5). La cubierta plana está compuesta por: a- estructura resistente (losa prefabricada) b- aislación térmica de poliestireno expandido de 5 cm de espesor c- hormigón alivianado con pendiente para el escurrimiento del agua d- carpeta e-membrana hidrófuga (R techo = 3.65 m²C/W). El sector Sur de la vivienda tiene una cubierta de chapa sobre estructura de correas de acero galvanizado con una aislación térmica de lana de vidrio de 10cm de espesor. Como resultado de la pared de ladrillo macizo en el interior de la envolvente vertical y el uso también de paredes interiores macizas, el edificio es de alta inercia (400 kg/m², Goulding Owen y Steemers, 1994). La carpintería es de PVC con ruptura de puente térmico. Las áreas transparentes son de DVH (doble vidriado hermético), y la ventana alta, sobre el pasillo, es de lámina de policarbonato alveolar de 4mm; ambas, determinan un área de ganancia solar directa del 17.5% respecto al área útil. Según esta organización funcional y la tecnología adoptada la Tabla 2 muestra algunos indicadores dimensionales y energéticos del proyecto.

El valor de G (Coeficiente Volumétrico de Pérdidas) satisface los requerimientos de la Norma IRAM 11604 (2001). El valor de FAEP (relación entre envolvente y área útil) es algo superior al valor recomendado por Esteves, Gelardi y Oliva. (1997) para ser considerada una forma eficiente energéticamente. El Factor de exposición (área expuesta/área envolvente) es 1 (CZAJKOSWSKI; GOMEZ, 1994).



1 Acceso; 2 Cocina-comedor; 3 Lavadero; 4 Estar; 5 Dormitorio; 6 Dormitorio; 7 Baño; 8 Baño.
 En azul: refrescamiento natural a través de intercambiadores de calor aire-tierra

Figura 3 - Planta. Referencias: Superficie rayada: construida a 2008

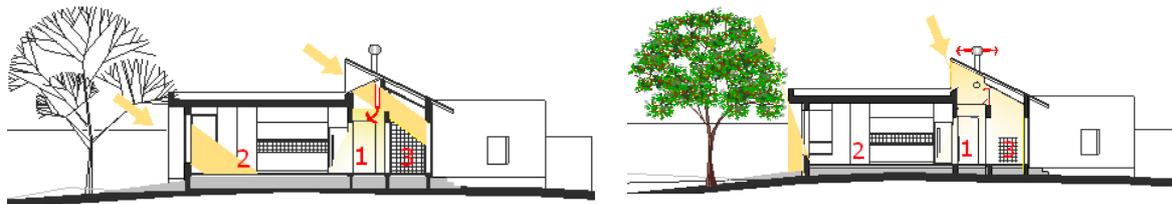


Figura 4 - Sección transversal (A-A) en el invierno y en el verano



Figura 5 - Terminación sobre aislación térmica en el muro Su

Perímetro (m)	Área útil (m ²)	I _c (%)	Volumen (m ³)	Envolvente (m ²)				FAEP (2/1)	Resistencia térmica (m ² °C/W)			G (W/m ³ °C)	
				Vertical		Cubierta	Total		Pared	Cubierta			Ventana
46	96	86	228	Opaca	Carpintería	95	215	2.2	1.60	plana	inclinada	2.3	1.43
				98.0	21.6					3.65	2.81		

I_c = Índice de compacidad, (Relación porcentual entre el perímetro de la envolvente en planta con el que tendría si la planta fuese circular) (MASCARÓ, 1983); FAEP (Relación entre envolvente y área útil) (Esteves; GELARDI; OLIVA, 1997); G = Coeficiente volumétrico de pérdidas (Energía térmica que pierde un local calefaccionado por unidad de volumen, unidad de tiempo y diferencia de temperatura) (CZAJKOSWSKI; GÓMEZ, 1994)

Tabla 2 - Indicadores dimensionales y térmicos-energéticos

Comportamiento térmico

La mayor parte del costo del consumo de energía de un edificio queda definido en las fases de diseño (más del 90%). En estas fases se determinan la forma, orientación y sistemas de calefacción y ventilación. Por eso es necesario diseñar el edificio teniendo en cuenta su consumo energético desde el inicio de su concepción (YARKE, 2005).

La Figura 6 muestra resultados de la simulación del comportamiento térmico invernal realizada durante la etapa de pre-diseño con el fin de predecir el calor auxiliar necesario durante el invierno para alcanzar las condiciones de confort. Se usó el modelo computacional SIMEDIF bajo Windows (FLORES LARSEN; LESINO, 2001). La evaluación se realizó para un período frío comprendido entre el 21 de julio y el 3 de agosto de 2006 con temperaturas por debajo de 0°C y máximas que no superaron los 10°C. El 21 y 22 de julio fueron días con cielo claro a los que siguieron tres días con una irradiancia máxima de 300 W/m² (temperatura máxima = 7.5°C; temperatura mínima 5.6°C), y nuevamente una serie de días con cielo claro (irradiancia máxima de 600 W/m²) con una temperatura máxima diaria que osciló entre 7.8 y 11°C, y una mínima que alcanzó un valor de -1.5°C. Bajo estas condiciones (sin ganancias internas y sin calor auxiliar) la temperatura interior llegaría a los 15°C y no bajaría de los 10°C. Al tratarse de una vivienda másica la amplitud térmica interior es de 5°C (amplitud térmica exterior = 12°C).

Para la vivienda sin ganancias internas, y para una temperatura media exterior de 7.6°C (media mínima = 1.5°C; media máxima = 13.5°C) y una irradiancia de 8.1 MJ/m² sobre superficie horizontal, el consumo diario de gas para calefaccionar sería de acuerdo a la Carga Térmica Unitaria, de 11.5, 13.0 y 19m³ para una temperatura interior de 18, 20 y 22°C, respectivamente. En la misma región en estudio, una vivienda de construcción convencional ubicada en una zona peri-urbana de baja densidad de edificación (Factor de exposición = 1) consume 0.21m³/m²/día para mantener una temperatura media interior de 18°C (temperatura media exterior = 7.9°C) (FILIPPÍN; FLORES LARSEN, 2005).

La vivienda bioclimática en estudio (Factor de exposición = 1) consumiría 0.09 m³/m²/día de gas para mantener una temperatura interior promedio de 18°C (temperatura exterior = 7.6°C). En este marco, el valor simulado de carga de calefacción fue considerado auspicioso en la etapa de diseño.

Para el verano (con un adecuado sombreado de las áreas transparentes), la carga diaria de refrigeración sería de 18.5, 50.4 y 77.5 kwh para una temperatura interior de 24, 22 y 20°C, respectivamente (condiciones externas de simulación = 23, 15 y 31.9°C, de temperatura media, mínima y máxima, respectivamente; irradiancia sobre superficie horizontal = 24.0 MJ/m²). Los resultados de la simulación se consideraron adecuados en la etapa de pre-diseño.

La Figura 7 muestra imágenes de la vivienda terminada.

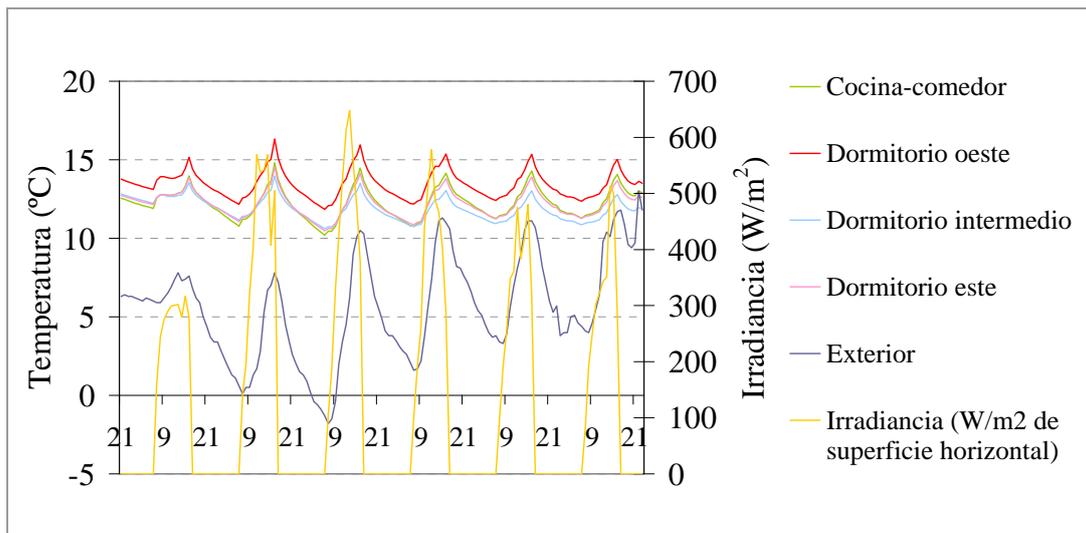


Figura 6 - Resultados de la simulación térmica de invierno



Figura 7 - Vista exterior e interiores

Evaluación económica

Si se compara el costo real de la vivienda en estudio (al 2007) con una vivienda de construcción tradicional en la región y de calidad similar, el sobre-costo por solarización y conservación fue del 6.4%, definido por el aumento de la superficie vidriada y la calidad de la carpintería con un parcial de 3.9% y las aislaciones de la cubierta con un parcial de 2.5%.

Resultados del monitoreo

El monitoreo térmico se inició el 20 de abril de 2008 con sensores tipo HOBO ubicados en cada área funcional. Finalizó a mediados de febrero de 2009. La temperatura y humedad relativa exterior se midió en el mismo lugar de la vivienda con un sensor HOBO 8. La radiación solar y la velocidad del viento corresponden a los valores obtenidos de una estación meteorológica HOBO ubicada en la planta urbana de la ciudad.

Condiciones internas de monitoreo

Otoño: desocupada

Desde el 20 de abril hasta el 22 de mayo la vivienda permaneció desocupada (sin ganancias internas y sin calor auxiliar) (Figura 8). Prevalcieron los días con cielo claro (irradiación máxima sobre superficie horizontal entre 400 y 500 W/m²). Si se divide la vivienda en tres zonas (Norte, Pasillo y Sur) se observa que entre el sector solarizado con ventanas bajas (Norte) y el sector con ventanas altas (Sur) la diferencia entre los valores medios de temperatura fue de 1.2°C. La temperatura media en el ático (espacio entre ventana alta sobre pasillo y cielorraso de vidrio) fue de 23.3°C. Los valores de temperatura máximos alcanzados se registraron en los primeros días del monitoreo (irradiación cercana a los 600 W/m² sobre superficie horizontal y una temperatura exterior máxima cercana a los 38°C). La temperatura media interior (excepto ático) fue de 21°C (temperatura media exterior = 15.9°C). Ver Tabla 3.

En la Figura 9 se observa el valor de la temperatura promedio, la máxima y la mínima absoluta de cada área funcional para el período

analizado sin usuarios. Por ejemplo, para los tres dormitorios (dormitorio Oeste actualmente estar) la temperatura promedio fue semejante, pero se observa que el que se ubica en el Este, se calienta más (mayor área de ganancia directa en relación a la superficie útil), pero también muestra la menor temperatura mínima absoluta (mayor superficie de envolvente en contacto con el exterior). La temperatura promedio interior (21.0°C) estuvo 5.1°C por encima de la exterior (15.9°C). El lavadero (con máxima exposición de su envolvente con el exterior) alcanzó una temperatura promedio de 19.5°C, la temperatura mínima fue de 14.8°C. La temperatura máxima del comedor estuvo 2.7°C por encima de la de la cocina (sensor hacia el fondo del local).

De toda la serie se estudia el período comprendido entre el 20 y el 26 de abril (secuencia de días con cielo claro e irradiación sobre superficie horizontal máxima de 500 W/m² y tres días con una temperatura máxima de alrededor de 38°C. A estos días, con condiciones externas rigurosas, siguió un descenso de la temperatura (temperatura máxima 27°C), situación que permaneció durante el resto del mes y mayo. La temperatura del ático alcanzó los valores máximos, muy acoplada a la radiación solar. La temperatura máxima en el dormitorio Este, con más ganancia solar, está 2 °C por encima de la del dormitorio Oeste. Durante la madrugada la temperatura mínima del dormitorio Este, con mayor área de envolvente en contacto con el exterior, estuvo 2°C por debajo de la temperatura mínima del dormitorio Oeste. El comportamiento térmico del baño (con ventana alta hacia el Norte y con su envolvente exterior hacia el Sur) respondió más a la curva de la irradiación en su valor máximo al mediodía solar y se empezó a enfriar casi dos horas antes que el resto de la vivienda. Este período muestra la inercia del edificio. A partir del día 24 de abril comenzó el descenso de la temperatura exterior con un valor máximo de 28°C y valores mínimos entre 0 y 7°C. Bajo estas condiciones la temperatura interior descendió, pero no más allá de los 17°C. Este descenso de la temperatura exterior no afectó el comportamiento térmico interior mientras se mantuvieron los días con cielo claro. (Figura 10).

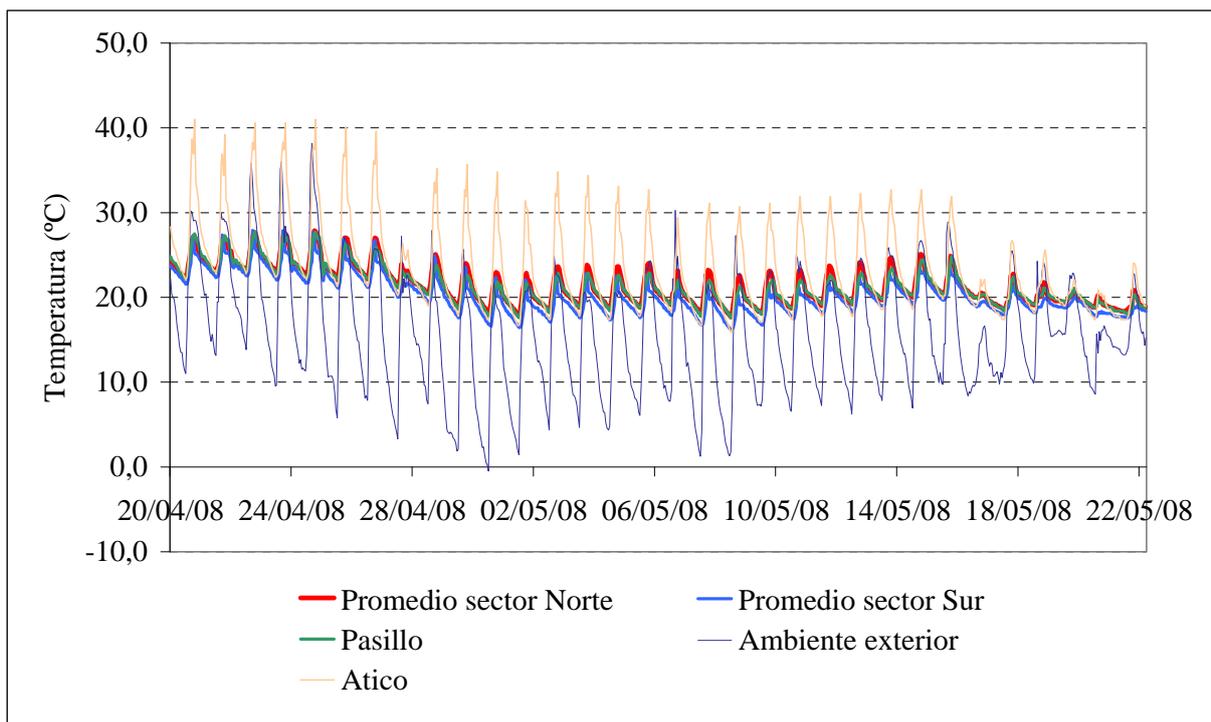


Figura 8 - Evolución de la temperatura en las distintas áreas funcionales de la vivienda sin usuarios

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Exterior</i>	<i>Sectores evaluados</i>			
		<i>Norte</i>	<i>Pasillo</i>	<i>Sur</i>	<i>Atico</i>
Promedio	15.9	21.5	21.3	20.3	23.3
Máxima absoluta	38.1	27.9	27.7	27.9	41.0
Mínima absoluta	-0.5	17.7	17.6	16.2	16.0

Tabla 3 - Zonificación térmica entre el 20 de abril y el 22 de mayo de 20

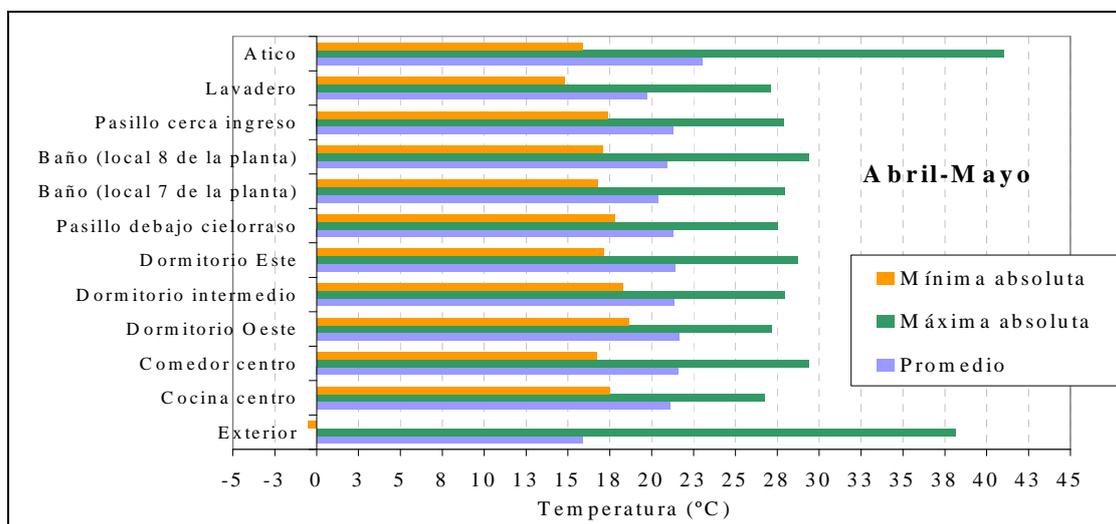


Figura 9 - Valores medios y máximos y mínimos absolutos por local en abril y mayo

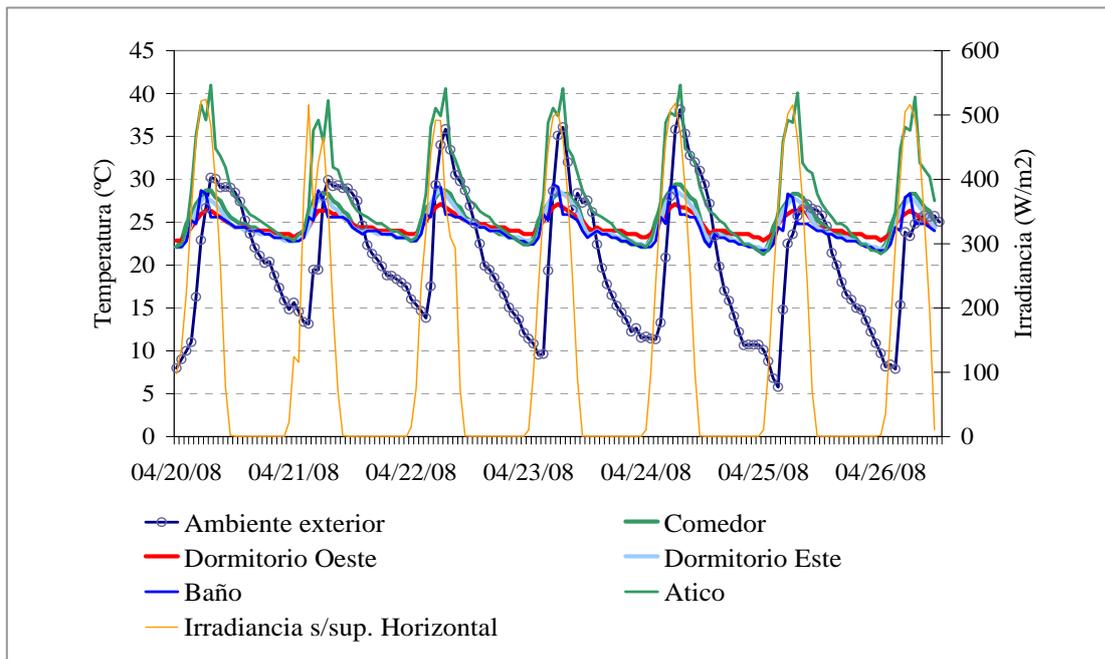


Figura 10 - Evolución de la temperatura entre el 20 y el 26 de abril

Invierno: en condiciones reales de uso

En el período de monitoreo y según datos suministrados por los usuarios, la cocción de alimentos se realizó durante el atardecer. La vivienda permaneció desocupada durante la mañana y parte de la tarde, y se encendieron los calefactores: 3000 kcal/h (en dormitorio Este y conducto de ventilación por dormitorio intermedio) y 5000 kcal/h (en pasillo con conducto de ventilación por dormitorio Oeste). La Figura 11 muestra la evolución de la temperatura desde el 1 de Junio. Cada línea muestra el valor horario del promedio por área (Norte con ganancia solar directa y Sur con ganancia solar indirecta a través del ático sobre el pasillo). El área Norte mostró una temperatura promedio de 1.8°C por encima del sector Sur, área que además alcanzó el menor valor de temperatura (4.9°C por debajo que el área Norte). La temperatura promedio de la vivienda fue de 22.4°C (temperatura promedio exterior = 9.8°C). (Tabla 4). En la Figura 12 se observa la temperatura promedio, máxima y mínima de cada área funcional. De los tres dormitorios, el Este (con calefactor) si bien tiene la temperatura promedio más baja alcanzó la máxima absoluta más alta (casi 29°C) y también la temperatura mínima más alta (16°C). Según los datos que suministró el usuario el calefactor se encendió al

máximo durante la noche. La temperatura promedio en el área de comer y cocción de alimentos se acercan, pero el valor máximo de temperatura alcanzado es superior donde está la cocina.

De todo el período se toman 10 días (nublados) en los cuáles la temperatura exterior se mantuvo por debajo de los 15°C, con mínimas que llegaron a los 0°C (Figura 13). El análisis del comportamiento térmico se realiza teniendo en cuenta toda la información registrada por el usuario en cuanto al encendido de los calefactores. La evolución de la temperatura en el dormitorio Oeste (línea verde de la Figura) muestra que el calefactor de 5000 kcal que se ubica en el pasillo permaneció al máximo durante la tarde del 19 y 20 y durante la noche del día 21 y 23 (conducto de ventilación pasa por el dormitorio). Durante los días 26 y 27 durante todo el día estuvo al mínimo. El calefactor que se ubica en el dormitorio Este (línea azul) se mantiene al mínimo durante la noche (sólo permaneció al máximo la noche del día 20). Ambos calefactores se mantienen en piloto durante la mañana. Bajo estas condiciones la temperatura interior fluctúa entre 20 y 25°C, excepto el lavadero que se movió entre los 15 y 20°C (sector más expuesto al exterior, pero con el aporte de calor del calefón).

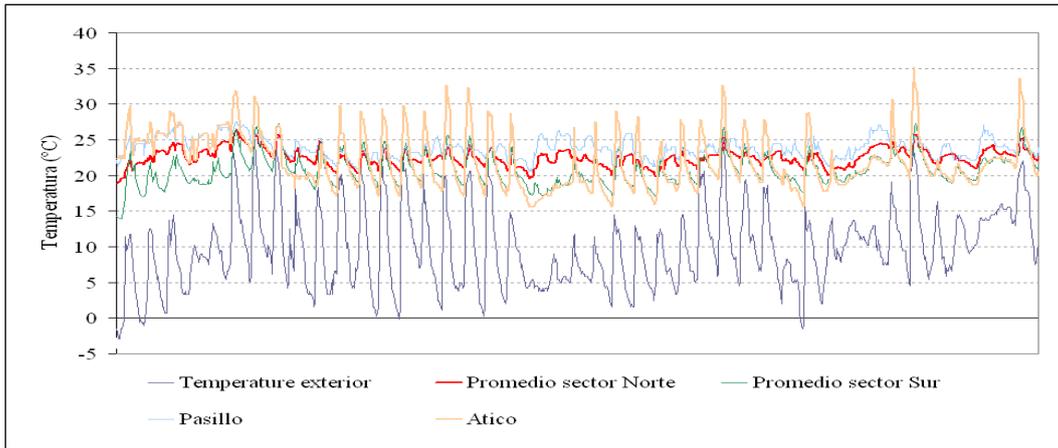


Figura 11 - Evolución de la temperatura en las distintas áreas funcionales de la vivienda en condiciones reales de uso (Junio-Julio)

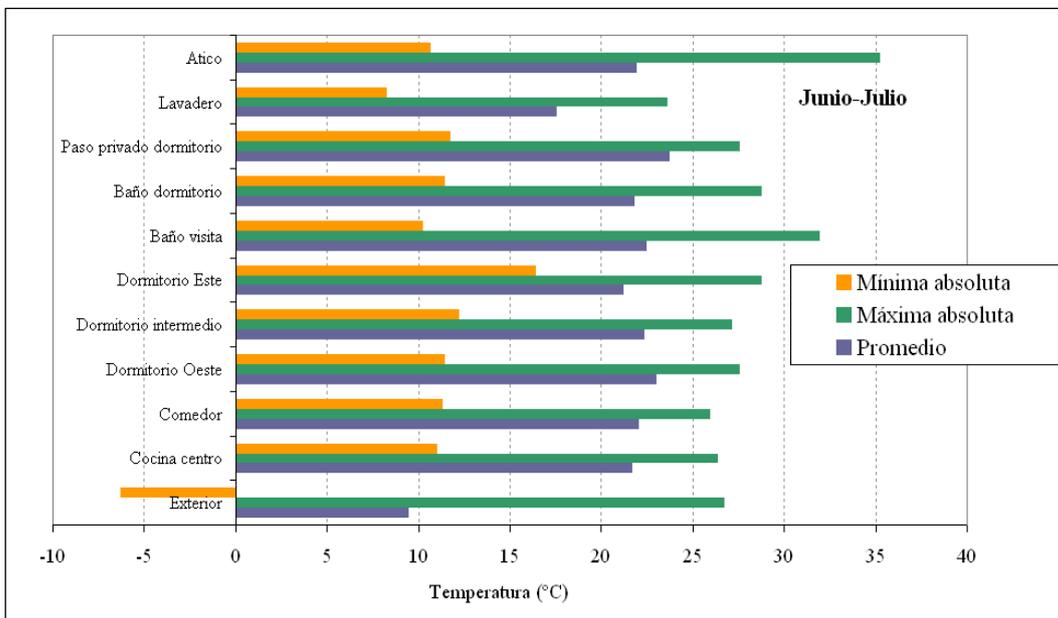


Figura 12 - Valores medios y máximos y mínimos absolutos por local en condiciones reales de uso

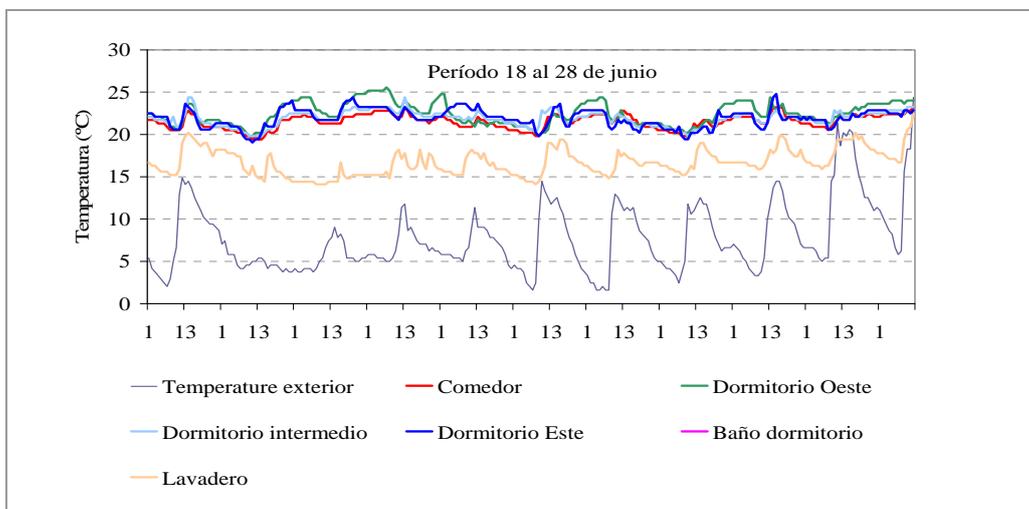


Figura 13 - Evolución de la temperatura bajo condiciones de cielo cubierto durante el invierno

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Exterior</i>	<i>Sectores evaluados</i>			
		<i>Norte</i>	<i>Pasillo</i>	<i>Sur</i>	<i>Atico</i>
Promedio	9.8	22.5	23.9	20.7	22.0
Máxima absoluta	26.7	26.3	27.5	27.3	35.2
Mínima absoluta	-2.9	18.8	20.5	13.9	15.6

Tabla 4 - Zonificación térmica entre el 1 de junio y el 13 de julio de 2008

Para estas condiciones el consumo de gas natural para calefaccionar la vivienda durante el período de monitoreo fue de $0.07 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para $\Delta t = 12.1^\circ\text{C}$ (temperatura promedio interior = 21.9°C ; temperatura promedio exterior = 9.8°C). Durante el pre-diseño la simulación térmica indicaba una carga de calefacción (sin ganancias internas) de $0.15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para un $\Delta t = 14.4^\circ\text{C}$ (temperatura interior de 22°C ; temperatura media exterior = 7.6°C). Si se compara el caso en estudio, con otras viviendas monitoreadas en la misma región, se observa que una vivienda bioclimática evaluada en 2003, consumió $0.05 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para un Δt similar; en el mismo año una vivienda convencional consumió, $0.21 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Los resultados del ahorro de energía en calefacción para construcciones bioclimáticas son auspiciosos.

De acuerdo a la temperatura y humedad relativa media, 22°C y 37% , respectivamente, del período en estudio (en condiciones reales de uso), se calcula el PMV (Valor medio predicho) y el PPD (Porcentaje de personas en discomfort) (ISO 7730). Los usuarios usaron en el período arropamiento ligero (0.5 clo). Para estas condiciones el PPD obtenido satisface la Norma. Si el usuario aumentara su arropamiento a 0.8 (arropamiento medio) la temperatura media podría alcanzar los 19°C sin variar el PPD y satisfacer igualmente la normativa. Un cambio de hábito en el arropamiento significaría disminuir la temperatura media en 3°C con un aumento del ahorro de energía.

Primavera: en condiciones reales de uso

La Figura 14 muestra la evolución de la temperatura entre el 1 y el 27 de octubre de 2008. Para una temperatura promedio exterior de 16°C , la vivienda estuvo casi 6.5°C por encima con amplitudes térmicas de menos de 5°C (amplitud térmica exterior = 20°C). El sector Norte de la vivienda mostró una temperatura media de 0.8°C por encima del sector Sur, entre ellos el pasillo con un valor de 21.9°C . (Tabla 5). Si bien durante el período se registraron temperaturas máximas por encima de lo normal (30°C), en el interior de la vivienda no se observó sobre-calentamiento durante la primavera.

Primavera: desocupada

Fue también un período en el que se registraron en el ambiente exterior temperaturas máximas por sobre los valores normales (30 a 35°C). Los días se caracterizaron por una extrema sequía y fuertes vientos con tormentas de polvo. La vivienda estuvo totalmente cerrada, por eso se observa en la Figura 15 un aumento de la temperatura hacia el final del período. La temperatura media exterior fue de 18.5°C (2.5°C por encima del valor del período anterior), pero la temperatura media interior estuvo sólo casi 0.5°C por encima (no hubo ventilación natural).

Verano

El período comprendido entre el 3 de diciembre de 2008 y el 16 de febrero de 2009 se caracterizó por temperaturas externas muy altas. En el 42% de los días la temperatura máxima alcanzó los 35°C . El 20.5% de los días mostró temperaturas máximas de 40°C . Fue un período seco, por lo tanto hubo predominancia de días de cielo claro y alta insolación.

Bajo estas condiciones, sin acondicionamiento mecánico de aire, la temperatura promedio de la vivienda fue de 25.9°C (incluido el ático), 0.7°C por encima de la temperatura promedio exterior. La Figura 16 muestra la temperatura promedio media de cada local y del exterior para todo el período. Se incluyen los valores de la temperatura máxima y mínima absoluta, valores que se registraron entre el 20 y el 24 de enero de 2009, días en los cuáles la temperatura exterior estuvo entre los 37 y los 43°C . En la Tabla 7 se observa la temperatura promedio para la zona Norte, para la zona Sur y el pasillo (25°C). Los valores indican que desde el invierno hacia el verano la zonificación térmica ha desaparecido. La diferencia entre el sector Norte y Sur pasó de 1.8°C en el invierno a 0.4°C en la primavera llegando a 0°C en el verano, siempre en condiciones reales de uso.

De acuerdo a la temperatura y a la humedad relativa media, 25°C (sin incluir el ático) y 44% , respectivamente, y a una velocidad del aire de 0.5 m/s , se calcula el PMV (Valor medio predicho) y el PPD (Porcentaje de personas en discomfort) (ISO 7730). Los usuarios usaron en el

período arropamiento ligero (0.5 clo). Para estas condiciones el PMV es 0.47 y el PPD obtenido satisface la Norma (PPD = 5.03). Si se considera un ascenso de la temperatura a 29°C se necesita aumentar la velocidad de aire. Para 0.80m/s y para 1m/s el valor de PMV sería de 1.46 y 1.07, respectivamente.

De todo el período de monitoreo se toman los días comprendidos entre el 3 de diciembre de 2008 y el 6 de enero de 2009. Hay alternancia de períodos cálidos y algunos días frescos. La

temperatura interior en las distintas zonas no va más allá de los 25°C aún los dos días en que la temperatura máxima llega a los 40°C. Según lo descrito en párrafos anteriores la situación más desfavorable durante el verano se registró durante los últimos 10 días de enero (condiciones climáticas externas adversas: alta insolación, escasa velocidad de viento, alta temperatura del aire)(Figura 17).

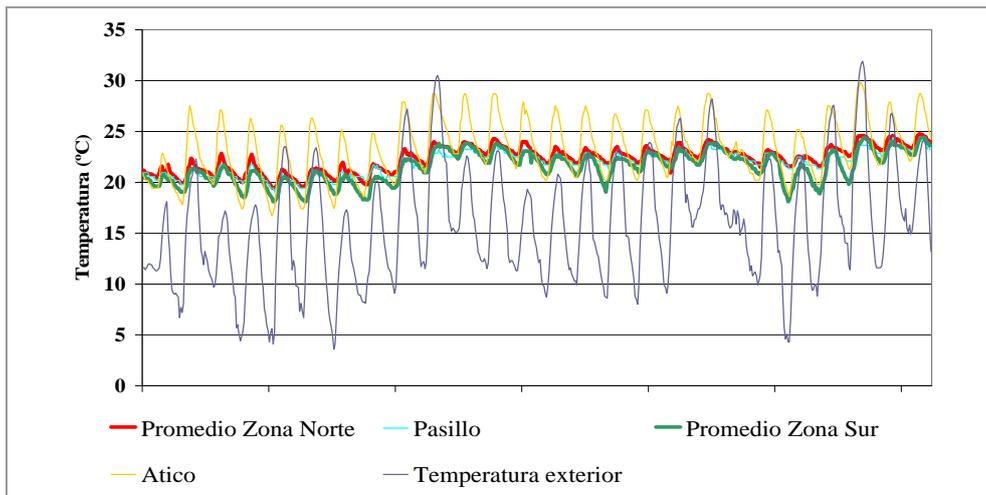


Figura 14 - Evolución de la temperatura entre el 1 y el 27 de octubre de 2008

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Exterior</i>	<i>Sectores evaluados</i>			
		Norte	Pasillo	Sur	Atico
Promedio	16.0	22.3	21.9	21.5	23.3
Máxima absoluta	31.9	24.8	24.4	24.4	29.8
Mínima absoluta	3.6	19.4	19.0	18.1	16.7

Tabla 5 - Zonificación térmica entre el 1 y el 27 de octubre de 2008

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Exterior</i>	<i>Sectores evaluados</i>			
		Norte	Pasillo	Sur	Atico
Promedio	18.5	22.8	22.3	22.1	23.8
Máxima absoluta	32.4	26.1	25.2	25.6	30.7
Mínima absoluta	7.1	19.9	19.8	18.5	17.4

Tabla 6 - Zonificación térmica entre el 27 de octubre y el 5 de noviembre de 2008

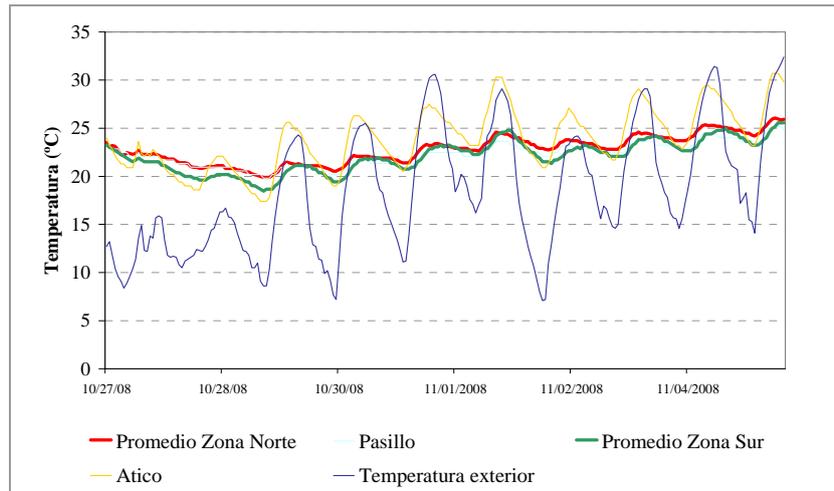


Figura 15 - Evolución de la temperatura entre el 27 de octubre y el 5 de noviembre de 2008

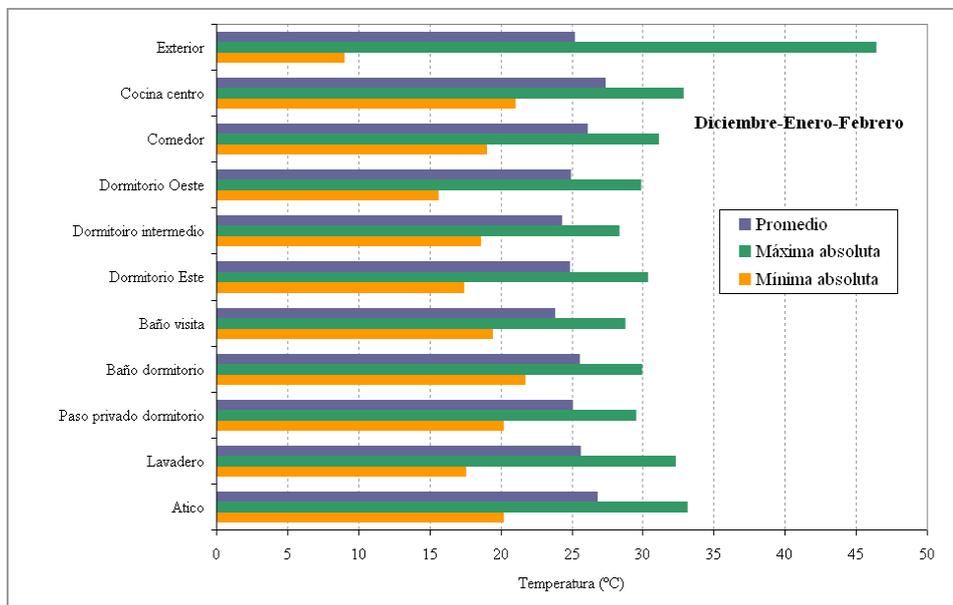


Figura 16 - Valores medios y máximos y mínimos absolutos por local en condiciones reales de uso

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Exterior</i>	<i>Sectores evaluados</i>			
		Norte	Pasillo	Sur	Atico
Promedio	25.2	25.0	25.0	25.0	26.8
Máxima absoluta	46.4	29.9	29.5	30.3	33.1
Mínima absoluta	9.0	17.6	20.2	18.5	20.2

Tabla 7 - Zonificación térmica entre el 3 de diciembre de 2008 y el 16 de febrero de 2009

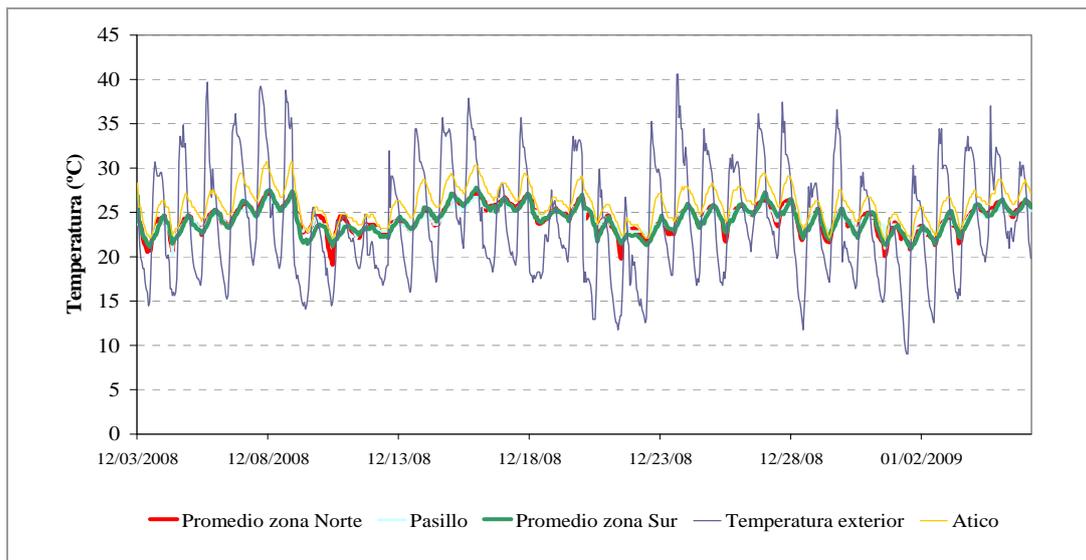


Figura 17 - Evolución de la temperatura ente el 3 de diciembre de 2008 y el 6 de enero de 2009

Conclusiones

Respecto a la etapa de diseño los resultados de la simulación térmica de la vivienda fueron razonables, también el calor auxiliar estimado para las temperaturas medias que mostraron un ahorro superior al 50% respecto a una vivienda convencional. El extra - costo por solarización y conservación de la energía (definido exclusivamente por la carpintería y el vidrio doble y la aislación térmica en la cubierta) fue del 6.4%.

El comportamiento térmico durante el otoño (muy peligroso en la región en estudio por la alternancia de períodos con elevada temperatura e irradiancia sobre superficie horizontal cercana a los 500 W/m^2) no mostró sobrecalentamiento. El consumo diario de gas natural para mantener la condición de confort (temperatura promedio interior = 22.4°C ; temperatura promedio exterior = 9.8°C) fue de $0.07 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, valor inferior al que registra una vivienda convencional ($0.21 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, temperatura promedio interior = 18°C ; temperatura promedio exterior = 8.3°C).

Es necesario destacar que el ahorro de energía en calefacción podría aumentar simplemente con un mayor arropamiento de los usuarios. Los resultados del monitoreo de invierno fueron satisfactorios y acordes con las expectativas del usuario.

Durante la primavera, y aún con períodos más cálidos que lo normal no se observó situación de disconfort. El verano también más cálido que lo normal presentó hacia finales de enero situaciones de stress térmico. El uso de color oscuro en la pared Oeste no benefició el

comportamiento térmico de la pared exterior de la cocina. Las condiciones climáticas fueron adversas para maximizar la ventilación natural. Una extrema sequía y vientos con tormenta de polvo impidieron abrir las ventanas para disponer de ventilación nocturna, estrategia recomendada para la región en estudio.

Los resultados de monitoreo estuvieron acordes con las expectativas planteadas durante el pre-diseño.

Referencias

ALLARD, F. **Natural Ventilation in Buidings:** a design handbook. Londre: James & James, 2002.

CZAJKOSWSKI, J.; GÓMEZ, A.;
CORREDERA, C. *Arquitectura Sustentable.*
Diario de Arquitectura Clarín, Buenos Aires,
mar. 2007. Suplemento 1-10.

CZAJKOSWSKI, J.; GÓMEZ, A. **Introducción al Diseño Bioclimático y la Economía Energética Edilicia.** La Plata: Editorial de la UNLP, 1994.

ESTEVES, A.; GELARDI, D.; OLIVA, A. The Shape in the Bioclimatic Architecture: the FAEP factor. In: CONFERENCE TEACHERS IN ARCHITECTURE, 2., 1997, Florência, Italia. **Proceedings...** Florência: EURIMA, 1997. cap. 3.12.

EVANS, M. **Energía en el Hábitat Construido:** panorama en Argentina. Los edificios bioclimáticos en los países de Ibero América. San Martín de los Andes: Programa CYTED, 2005. p. 97-112.

FILIPPIN, C.; FLORES LARSEN, S. Comportamiento Térmico de Invierno de una Vivienda Convencional en Condiciones Reales de Uso. **Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 151-156, 2005.

FLORES LARSEN, S.; LESINO, G. Modelo Térmico del Programa SIMEDIF de Simulación de Edificios. **Energías Renovables y Medio Ambiente**, Buenos Aires, v. 9, p. 15-24, jun. 2001.

FUERZA AÉREA ARGENTINA. Comando de Regiones Aéreas, Servicio Meteorológico Nacional. **Estadísticas Meteorológicas 1981/1990**. 1. ed. Buenos Aires, 1992. 694 p. (Serie B, 37)

GOULDING, J.; OWEN Lewis, J.; STEEMERS, T. *Energy in Architecture: the European Passive Solar Handbook*. Londres : Batsford for the commission of the European Communities, 1994. 301 p.

GUADAGNI, A. La Amenaza del Cambio Climático Global. *Diario La Nacion*, Buenos Aires, 28 ago. 2008.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. **IRAM 11604:** aislamiento térmico de edificios: verificación de sus condiciones higro- térmicas: ahorro de energía en calefacción: coeficiente global de pérdidas: cálculo y valores límites. Buenos Aires, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730:** moderate thermal environments: determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva, 1994.

MASCARÓ, L. **Variación de Los Costos de Los Edificios Con Las Decisiones Arquitectónicas**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 1983. 137 p.

OLGYAY, V. **Design with Climate**. Nova Jersey: Princenton University Press, 1963.

SANTAMOPURIS, M. **Energy Performance of Residential Buildings: a practical guide for energy rating and efficiency**. Londres: James & James, 2005.

YARKE, E. Ventilación Natural de Edificios. Fundamentos y Métodos mde Cálculo para aplicación de Ingenieros y Arquitectos. Argentina: Editorial NOBUKO, 2005. p. 140

Agradecimientos

Las autoras agradecen a los doctores Gallo y Sbrocco la excelente predisposición y su colaboración para alcanzar los resultados esperados. El trabajo fue parcialmente financiado a través del Proyecto PICT - 2006 - 01963.